

**Марковский М.Ф.**, канд. техн. наук, директор, РУП «Институт БелНИИС»,  
г. Минск

**Бурсов Н.Г.**, научный сотрудник, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск

## **ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКОЛЬЗЯЩЕЙ ОПАЛУБКИ**

### **SLIPFORM-BASED TECHNOLOGY OF ERECTING CAST-IN-SITU STRUCTURES OF ENGINEERING CONSTRUCTIONS**

#### **Аннотация**

*В статье освещены технологические особенности монтажа скользящей опалубки при возведении монолитных конструкций инженерных сооружений, правила обеспечения проектного положения самой опалубки и возводимого здания, специфика контроля качества.*

#### **Abstract**

*The paper shows slipform placement processing when erecting cast-in-situ structures of engineering construction, regulations for design position of both the form and the building being constructed as well as quality control features.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Современная технология монолитного бетона давно доказала на практике свою конкурентоспособность и высокую эффективность, о чем свидетельствует тот факт, что практически все объекты последнего десятилетия, имеющие государственную важность, были возведены с преимущественным использованием монолитного бетона. Монолитный бетон стал основным материалом, используемым для строительства высотных и жилых зданий, а также инженерных сооружений. Самые высокие здания мира уже построены или строятся на основе монолитного железобетонного каркаса, в том числе и мировые рекордсмены: построенная башня БУРЖ-ХАЛИФА (высота 828 м), строящиеся башни Лотте в Южной Корее (высота 555 м). С годами появилось понимание того, что потенциал монолитного бетона как конструкционного материала, позволяющего возводить яркие и выразительные сооружения, используется слабо, что унифицированные

маловыразительные модульные здания должны остаться в прошлом. Освоение новых технологий строительства, создание и использование современных опалубочных систем, комплексная механизация технологических процессов приготовления, доставки, подачи и укладки бетонной смеси, применение ускоренных методов твердения при всесезонном производстве работ будут способствовать расширению области применения монолитного бетона. Технология бетонирования с применением скользящей опалубки открывает новые технологические возможности для непрерывного интенсивного возведения инженерных сооружений.

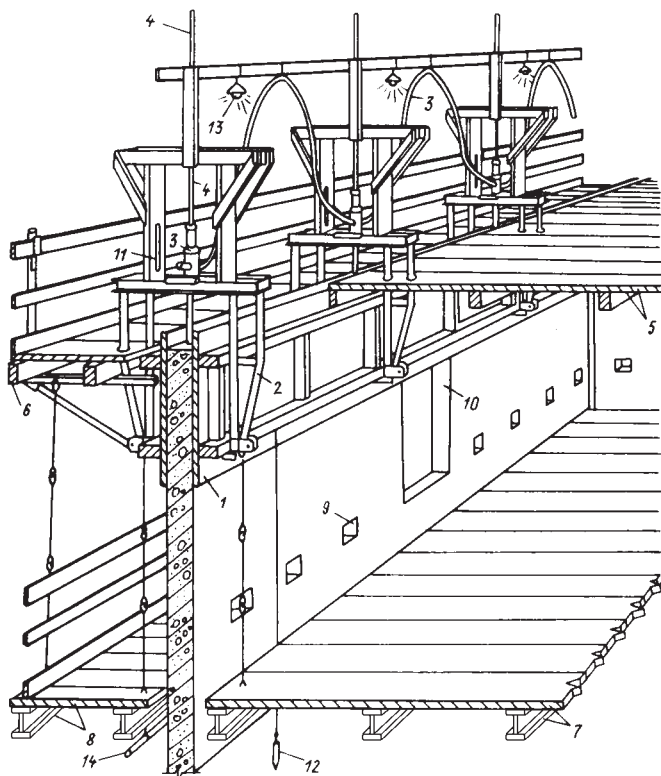
### **СКОЛЬЗЯЩАЯ ОПАЛУБКА**

Скользящая опалубка (рис. 1) представляет собой пространственную опалубочную систему, устанавливаемую по периметру стены и поднимаемую непрерывно вверх по всей высоте сооружения по мере бетонирования монолитных стен с установленной скоростью таким образом, чтобы после ее прохождения стены имели практически полную готовность, за исключением незначительных доделок.

Основные элементы скользящей опалубки (см. рис. 1):

- щиты скользящей опалубки — высота 1,1 или 1,2 м;
- домкратные рамы — предназначены для подъема и удерживания скользящей опалубки в проектном положении, а также для восприятия бокового давления бетонной смеси;
- гидрооборудование скользящей опалубки (гидродомкраты, автоматическая насосная станция, трубопровод гидравлических сетей и пр.);
- верхние и нижние рабочие площадки — предназначены для выполнения арматурных, бетонных, опалубочных и пр. работ, а также исправления дефектов монолитных конструкций;
- оборудование для контроля горизонтальности скользящей опалубки (сеть гидроуровней и пр.) и оборудование для контроля вертикальности сооружения (механические отвесы и пр.);
- вспомогательное оборудование (проемообразователи, кондукторы для арматуры, приспособления для устройства каналов, электрическое оборудование, система водоснабжения для ухода за бетоном, оборудование для термообработки в зимнее время по [1] и пр.).

К зданиям и сооружениям, возводимым с использованием скользящей опалубки, также предъявляется ряд требований. Во-первых, они должны быть максимально простыми в плане (круглыми или квадратными). Во-вторых, они должны иметь минимальное количество оконных и дверных проемов, а также закладных деталей. Следует отметить,



**Рисунок 1.** Общий вид скользящей опалубки (1 — щит опалубки; 2 — домкратная рама; 3 — гидродомкрат; 4 — домкратные стержни; 5 — верхняя внутренняя рабочая площадка; 6 — верхняя наружная рабочая площадка; 7 — нижняя внутренняя рабочая площадка; 8 — нижняя наружная рабочая площадка; 9 — отверстия для опирания перекрытия; 10 — дверной (оконный) проем; 11 — оборудование для контроля горизонтальности скользящей опалубки; 12 — оборудование для контроля вертикальности сооружения; 13 — электрическое оборудование; 14 — система водоснабжения)

что скользящую опалубку целесообразно применять для возведения нескольких рядом расположенных сооружений.

Здания и сооружения, возводимые с использованием скользящей опалубки, с конструктивной точки зрения должны отвечать следующим требованиям:

— конструктивные элементы должны предусматривать симметричное распределение масс и жесткостей, а также равномерное распределение вертикальных нагрузок на стены и пр.;

— основание сооружения должно быть выполнено в виде сплошной фундаментной плиты, служащей площадкой для монтажа скользящей опалубки и ее гидрооборудования. В случае необходимости возведения подвальной части сооружения, стены которой не могут быть возведены с использованием скользящей опалубки, следует предусмотреть надподвальное монолитное или сборное перекрытие, а по осям несущих стен предусмотреть арматурные выпуски;

— геометрические размеры сетки разбивочных осей должны быть постоянными по всей высоте сооружения;

— стены и колонны, располагаемые в одной вертикальной плоскости, рекомендуется выполнять постоянной толщиной;

— толщина армированных стен должна быть не менее 140 мм, а неармированных — не менее 200 мм;

— в стенах не должно быть горизонтальных элементов, выступающих из их плоскости. Каналы для прокладки коммуникаций инженерного оборудования и отверстия рекомендуется располагать в определенных, малозагруженных, местах монолитных стен. Глубина каналов для прокладки коммуникаций должна быть не более  $2/5$  поперечного сечения стены;

— монолитные конструкции, бетонируемые в скользящей опалубке, рекомендуется армировать арматурными каркасами высотой не более, м;

— плоские каркасы и отдельные стержни — 4;

— пространственные каркасы — 6.

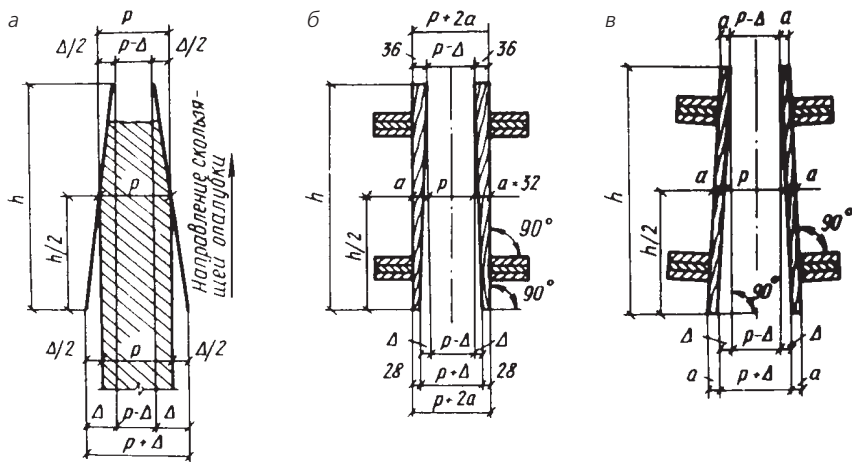
## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СКОльзяЩЕЙ ОПАЛУБКИ**

Для обеспечения основного технологического преимущества скользящей опалубки — ее подвижности — щиты опалубки располагают не вертикально. Подвижность опалубки является необходимым, но не достаточным условием для ее легкого высвобождения по мере укладки бетонной смеси, особенно при ее отделении от затвердевшего бетона в нижней части щитов, где трение между опалубкой и бетоном значительно возрастает. Наклон к вертикали противоположных щитов опалубки способствует уменьшению адгезии бетона к опалубке. Фактически смонтированная в проектное положение опалубка становится «более открытой» внизу (рис. 2а), тем самым обеспечивается ее конусность [2].

Конусность опалубки варьируется в пределах от 3 до 10 мм/м и обеспечивается за счет:

— конструкции щитов (см. рис. 2б);

— способа крепления щитов при монтаже (см. рис. 2в);



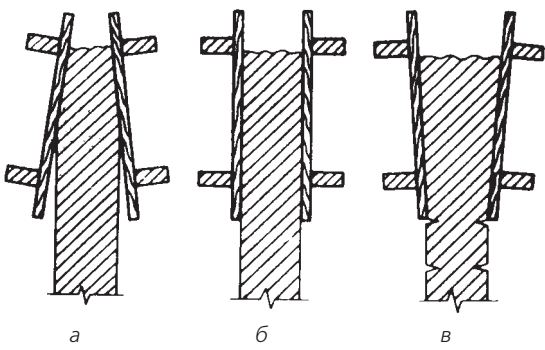
**Рисунок 2.** Схема устройства конусности опалубки (а – принципиальная схема устройства конусности опалубки; б – схема устройства конусности опалубки за счет конструкции щитов; в – схема устройства конусности опалубки за счет способа крепления щитов при монтаже)

— устройства обрешетки опалубки с радиусами различной кривизны;  
 — использования щитов трапециидальной или ромбообразной формы [3].

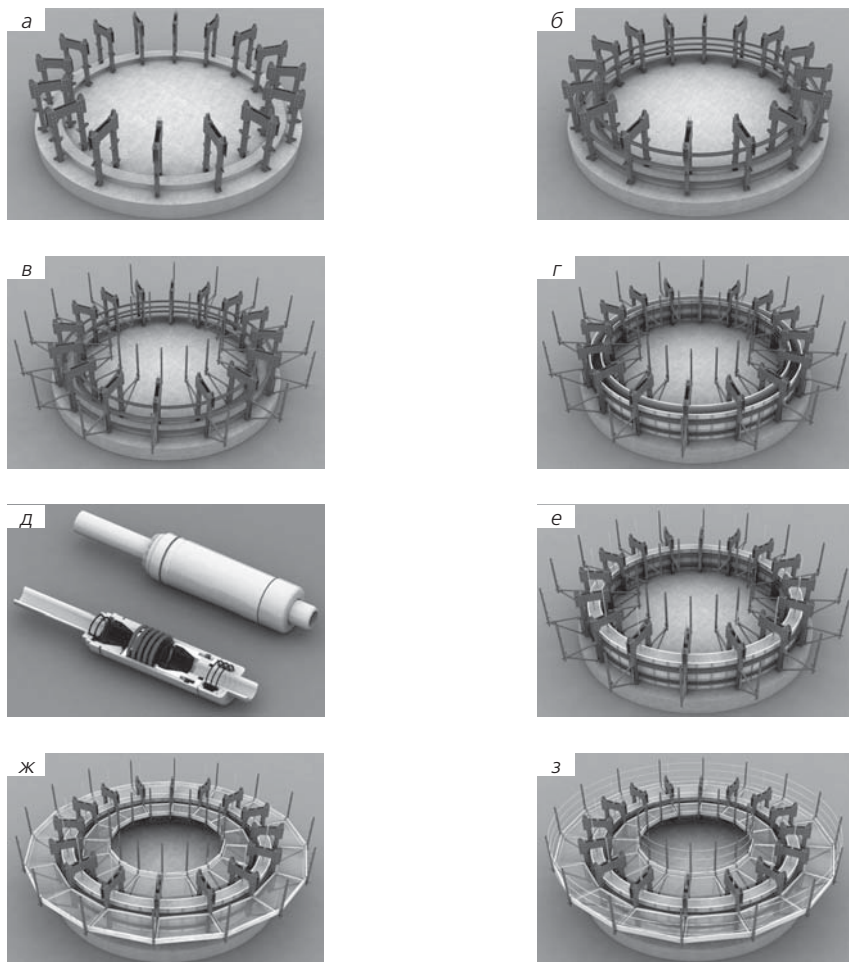
Конусность опалубки формируют по направлению скольжения опалубки (рис. 3а). При этом изменение наклона щитов или монтаж щитов вообще без наклона может вызвать отрыв бетона и (или) разрушение монолитной конструкции.

При монтаже щитов опалубки их положение проверяют с помощью шаблонов с отвесами, а после монтажа всех щитов проверяют ко-

**Рисунок 3.** Схема формирования конусности скользящей опалубки (а – щиты установлены правильно (конусность опалубки по направлению скольжения); б – щиты установлены неправильно (не имеют наклона); в – щиты установлены неправильно (конусность опалубки против направления скольжения))



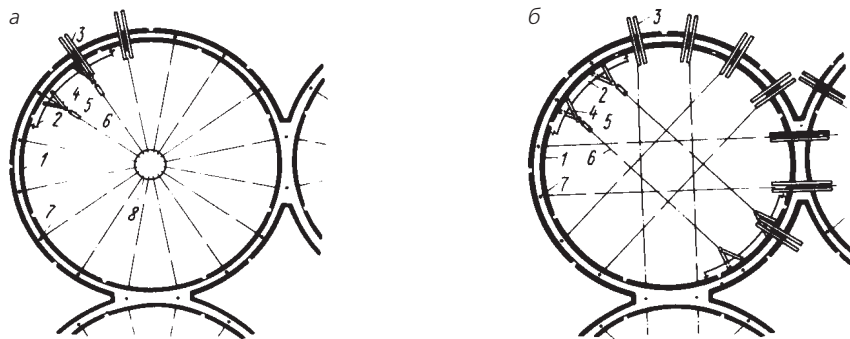
нужность опалубки и при необходимости регулируют наклон щитов. Затем щиты окончательно закрепляют на элементах обрешетки и домкратным рамам. Технологическая последовательность монтажа скользящей опалубки приведена на рис. 4.



**Рисунок 4.** Технологическая последовательность монтажа скользящей опалубки (а – установка домкратных рам; б – фиксация элементов обрешетки (кружал); в – то же консолей для опирания верхних наружной и внутренней рабочих площадок; г – монтаж щитов скользящей опалубки; д – схема гидродомкрата; е – установка гидродомкрата на домкратную раму; ж – то же верхних наружных и внутренних рабочих площадок; з – то же перил ограждения)

Подъем скользящей опалубки и соблюдение установленной скорости подъема обеспечиваются за счет опирания домкратных рам на металлические домкратные стержни и передачи нагрузки на фундамент сооружения или на бетон, набравший проектную прочность. Подобная технология позволяет в дальнейшем ускорить распалубку монолитных конструкций, так как они воспринимают только нагрузку от собственного веса. Использование антиадгезионных смазок не допускается.

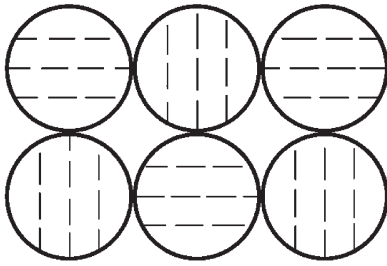
Проектное положение скользящей опалубки во время ее подъема обеспечивается горизонтальными тягами с муфтами, которые за счет натяжения в тягах формируют сжимающее усилие по всему контуру опалубки, то есть для сохранения проектной формы опалубки и, соответственно, сооружения следует обеспечить одинаковое усилие во всех горизонтальных тягах. Применяется горизонтальное или парное расположение тяг (рис. 5).



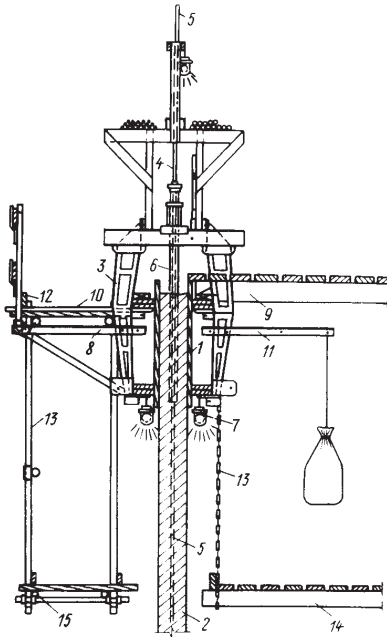
**Рисунок 5.** Схемы расположения горизонтальных тяг круглой скользящей опалубки (а – радиальное расположение горизонтальных тяг; б – парное расположение горизонтальных тяг). 1 – стенка; 2 – ребро; 3 – домкратная рама; 4 – скоба для крепления горизонтальной тяги к щиту скользящей опалубки; 5 – муфта для натягивания горизонтальной тяги; 6 – горизонтальная тяга; 7 – домкратный стержень; 8 – центровочный диск (кольцо) для крепления горизонтальных тяг)

Парное расположение горизонтальных тяг позволяет при возведении круглых монолитных конструкций значительного размера освободить центральную зону для размещения подъемников и прочего технологического оборудования. Для изготовления горизонтальных тяг используют, как правило, арматуру диаметром от 12 до 18 мм. Крепление радиальных горизонтальных тяг в центре осуществляют с использованием специального диска.

Соблюдению проектного положения опалубки способствует правильный монтаж несущих элементов рабочих площадок. Так, при воз-



**Рисунок 6.** Направление монтажа несущих балок рабочих площадок расположенных рядом сооружений



**Рисунок 7.** Схема крепления уравнивающей консоли (1 — щит опалубки; 2 — железобетонная стена; 3 — домкратная рама; 4 — гидродомкрат; 5 — домкратный стержень; 6 — защитная трубка; 7 — осветительное оборудование; 8 — консоль для опирания верхней наружной рабочей площадки; 9 — верхняя внутренняя рабочая площадка; 10 — верхняя наружная рабочая площадка; 11 — уравнивающая консоль; 12 — перила ограждения; 13 — вертикальные тяги крепления нижней рабочей площадки; 14 — нижняя внутренняя рабочая площадка; 14 — нижняя наружная рабочая площадка)

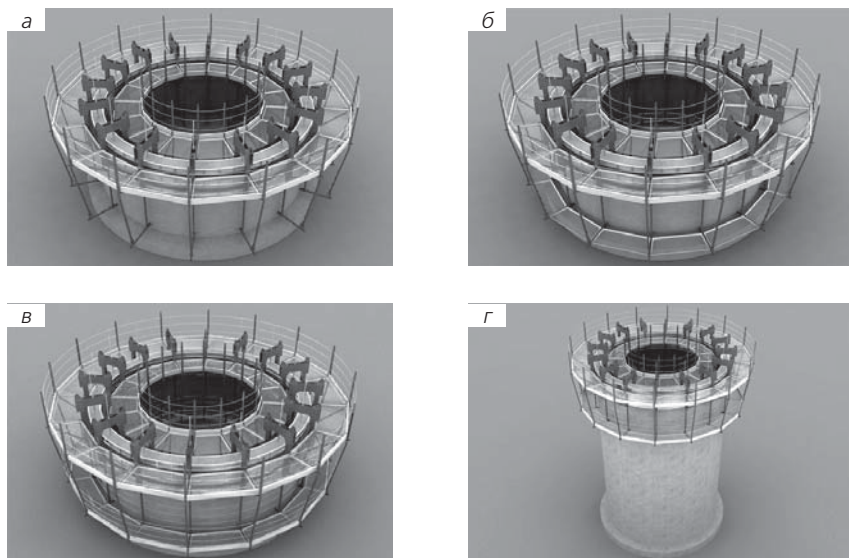
ведении нескольких рядом расположенных сооружений несущие балки рабочих площадок соседних сооружений следует ориентировать взаимно перпендикулярно друг к другу с целью недопущения перекоса сооружений (отклонение от вертикали, закручивание) (рис. 6).

Для компенсации моментов, обусловленных действием внутренних рабочих площадок, действующих на домкратные рамы в зоне наружных площадок, подвешенных на консолях, следует использовать систему внутренних балансиров. Система представляет собой совокупность металлических консолей, прикрепляемых на внутренних стойках соответствующих домкратов и противовесов — мешки с песком, бетонные блоки и пр. (рис. 7).

Нижние рабочие площадки монтируют после подъема скользящей опалубки на высоту, достаточную для их монтажа (ориентировочно — от 1,5 до 2 м) (рис. 8).

Технология применения скользящей опалубки базируется на послойной укладке бетонной смеси. При этом каждый последующий слой бетонной смеси укладывают на нижележащий слой до момента его схватывания, что и обеспечивает монолитность и целостность всей





**Рисунок 8.** Технологическая последовательность монтажа нижних внутренней и наружной рабочих площадок (а – фиксация вертикальных тяг для монтажа нижних рабочих площадок; б – то же настила нижних рабочих площадок; в – установка перил ограждения нижних рабочих площадок)

бетонной конструкции без устройства рабочих технологических швов. Основным требованием для беспрепятственного скольжения опалубки вверх является синхронность опалубочных и бетонных работ. Учитывая непрерывность подъема скользящей опалубки, работы по возведению монолитных конструкций в скользящей опалубке рекомендуется осуществлять в три смены по 8 ч или в две смены по 10—12 ч.

Бетонную смесь в скользящую опалубку следует укладывать непрерывно, обращая внимание на следующее:

- толщина слоя бетонной смеси должна быть не более 300 мм по всему контуру сооружения. При этом уровень уплотненной бетонной смеси должен быть ниже на 50 мм верха щитов опалубки. Направление укладки бетонной смеси в скользящую опалубку и движения персонала следует изменять не менее четырех раз в течение одной смены;
- уплотнение бетонной смеси следует производить немедленно после ее укладки;
- рекомендуемая прочность бетона при выходе из скользящей опалубки должна быть не менее 0,2—0,3 МПа. Бетон при выходе из скользящей опалубки должен обладать прочностью, достаточной для

сохранения формы сооружения, а остающиеся на его поверхности следы от опалубки должны легко заглаживаться теркой.

### **КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

После первого подъема скользящей опалубки следует осуществить проверку работы всех гидродомкратов, горизонтальность самой опалубки, а также проверку освобождения нижней части щитов опалубки от фундамента. Во время дальнейшего подъема скользящей опалубки особое внимание следует уделить контролю вертикальности возводимого сооружения, а также горизонтальности скользящей опалубки. Горизонтальность опалубки проверяют непрерывно, а вертикальность сооружения — не реже одного раза в смену. Нарушение горизонтальности опалубки может быть обусловлено:

- неравномерной работой гидродомкратов (разный шаг);
- неравномерным расположением по рабочему полу строительных деталей, элементов технологического оборудования и пр.;
- дополнительной нагрузкой на рабочий пол, вызывающей асинхронность работы гидродомкратов;
- недостаточной жесткостью элементов опалубки.

Отклонение от горизонтальности опалубки вызывает:

- наклон, кривизну, перегибы внешних щитов скользящей опалубки;
- скручивание скользящей опалубки.

При возведении монолитных конструкций с использованием скользящей опалубки следует контролировать:

- при монтаже скользящей опалубки:
  - смещения установочных осей опалубки относительно разбивочных осей здания с помощью теодолита, электронного тахеометра или лазерного геодезического прибора преимущественно методом створов;
  - соответствие высотных отметок и горизонтальности кружал проектным значениям с помощью нивелира или лазерного прибора, задающего горизонтальную плоскость;
  - конусность опалубки с помощью рейки-отвеса, на нижнюю часть которой нанесена миллиметровая шкала;
  - вертикальность и места установки домкратных рам;
- при возведении монолитных конструкций — вертикальность движения скользящей опалубки.

Армирование стен ведут параллельно с бетонированием, без отставаний. При этом по возможности следует использовать кондукторы для выдерживания точного положения арматуры во время укладки бе-

тона, так как отклонение арматуры может привести к нарушению проектного положения скользящей опалубки при подъеме.

Рекомендуется применять технологию вязки арматуры в построчных условиях. Для механизации процесса вязки арматуры следует применять специальные пистолеты (таблица 1).

Таблица 1

**Технические характеристики пистолета для механизации процесса вязки арматуры фирмы MAX CO., LTD (Япония)**

Наименование параметра	Марка пистолета		
	RB 215	RB 395	RB 650A
Минимальный совокупный диаметр соединяемых стержней арматуры, мм	0	20	20
Максимальный совокупный диаметр соединяемых стержней арматуры, мм	21	39	65
Время устройства одного соединения, не более, с	1	0,8	от 0,8 до 1,1
Количество петель в одном соединении, шт.	3	3	1
Диаметр вязальной проволоки, мм	0,8	0,8	1,5
Длина проволоки в катушке, м	95		
Тип проволоки	TW897 (сталь) и TW897EG (с гальваническим покрытием)		
Количество соединений на одну катушку	120	от 180 до 210	от 120 до 230
Масса пистолета, кг	2,1	2,0	3,5
Габаритные размеры, мм	279×99×284	279×99×200	339×93×327
Напряжение, В	9,6		
Емкость аккумулятора, Ач	2,0	2,0	3,3
Время зарядки аккумулятора, мин	25	25	30

**ВОЗВЕДЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СИЛОСОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЦЕМЕНТА В СКОльзяЩЕЙ ОПАЛУБКЕ**

В настоящее время идет реализация инвестиционного проекта по реконструкции и модернизации трех цементных заводов Беларуси. Возведение монолитных железобетонных силосов для хранения цемента осуществлялось с применением технологии скользящей опалубки.

Конструкция скользящей опалубки позволяет выполнять все операции без использования вспомогательных лесов, а также безопасно перемещать весь блок при значительных скоростях ветра (до 70 км/час).

Применение скользящей опалубки относится к высокотехнологическим процессам и требует практических навыков и высокой квалификации рабочих и инженерных кадров. Работы с использованием технологии скользящей опалубки должны выполняться специализированной организацией, которой в Республике Беларусь является ОАО «Управление механизации № 88» (г. Минск). Специалисты этой организации принимали участие в строительстве монолитных железобетонных силосов цилиндрической формы для хранения цемента на трех цементных заводах.

Ранее применение технологии скользящей опалубки было возможно только при положительной температуре окружающего воздуха. Специалистами РУП «Институт БелНИИС» разработана технология круглогодичного бетонирования конструкций в скользящей опалубке с использованием современных модифицированных бетонов, успешно апробированная во время строительства монолитных силосов для хранения цемента. В летний и зимний периоды были достигнуты темпы строительства по высоте до 3 м/сут (рис. 9).

Эффективность применения скользящей опалубки для строительства подобных сооружений, в сравнении с другими технологическими решениями, обусловлена следующими факторами:

- увеличение темпа строительства;
- снижение приведенных затрат на 13—25% [4];



**Рисунок 9.** Монолитные железобетонные силосы для хранения цемента

— возможность использования, в результате несложной переналадки, одного комплекта скользящей опалубки для возведения зданий различного планировочного решения и разной этажности.

Скользящая опалубка позволяет обеспечить требуемое качество выполнения работ. Например, темп строительства здания высотой около 200 м во Франкфурте составил 8 дней на один этаж, а качество поверхности стен делало возможным выполнение отделочных работ без дополнительной доводки (затирки) [5]. При этом периметр наружных стен здания составлял 210 м, а проемы в монолитных стенах выполнялись с допуском  $\pm 5$  мм. Следует также учитывать, что при производстве работ на высоте 100 м и более монтажные краны из-за ветров и туманов могут полноценно работать не более 4—5 дней в неделю.

## **ВЫВОДЫ**

1. Инженерные конструкции цилиндрической или прямоугольной формы рекомендуется возводить с использованием технологии скользящей опалубки. При этом на стадии разработки технологических и конструктивных решений следует учитывать:

— технологичность монолитной конструкции на стадии проектирования, что позволит повысить индустриализацию и темпы строительства, а также качество самих конструкций;

— технологические факторы использования скользящей опалубки, связанные с обеспечением пространственного расположения опалубки и возможностью корректировки ее положения, неравномерной работой гидродомкратов и пр.;

— обеспечение проектного расположения скользящей опалубки в пространстве, а также выполнение условий точности различных видов измерений при возведении монолитных конструкций;

— максимальное использование энергосберегающих технологий бетона.

2. Технология строительства монолитных конструкций с использованием скользящей опалубки была апробирована во время строительства РУП «Завод газетной бумаги» (г. Шклов), силосов ПРУП «Белорусский цементный завод» (г. Кричев) и пр.

## **Список цитированных источников**

1. Бетонные работы при отрицательных температурах воздуха. Правила производства: ТКП 45-5.03-21-2006. — Введ. 01.07.06. — Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2006. — 107 с.
2. Руководство по конструкциям опалубок и производству опалубочных работ. — М.: Стройиздат, 1983. — 500 с.

3. *Динеску, Г.* Скользящая опалубка / Г. Динеску, А. Шандру, К. Рэдулеску. — 2-е. изд.; пер. с рум. — М.: Стройиздат, 1975. — 527 с.
4. *Ефимов, М.Н.* О перспективе возведения высотных сооружений в скользящей опалубке / М.Н. Ефимов // Пече-трубостроение: тепловые режимы, конструкции, автоматизация и экология: Пленарные доклады: Материалы 3-го Междунар. конгресса [Электрон. ресурс] — М., 2006. — Режим доступа: <http://stsing.ru/>
5. *Волков, Ю.С.* Монолитное строительство возможно даже на Луне. Зарубежный опыт строительства монолитных зданий / Ю.С. Волков // Строительный эксперт [Электрон. ресурс] — 2003. — № 14. — Режим доступа: <http://salbenstroy.kz/?p=282>.

*Получено 12.11.12 г.*